

## **Использование методов математического моделирования при исследовании биологических объектов**

*Авдеев Юрий Михайлович*  
*Вологодский государственный университет*  
*Доцент*

*Филипова Елена Евгеньевна*  
*Вологодский институт права и экономики ФСИН России*  
*доцент*

### **Аннотация**

В статье рассматриваются вопросы использования методов математического моделирования при изучении состояния городской среды. Главными улучшителями состояния городской среды являются зелёные городские насаждения, которые снижают уровень загрязнения, улучшая микроклимат города. В последнее время при изучении процессов формирования древесных экосистем применяется математическое моделирование. Нашими исследованиями были охвачены посадки вяза шершавого в г. Вологда. В статье приводятся описательные статистики по количественным характеристикам, проанализирована взаимосвязь между ними и построено уравнение регрессии, показывающее зависимость ступени толщины дерева от диаметра на высоте 1,3 м.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, урбанизация, городские зелёные насаждения

### **Use method mathematical modeling in the study of biological objects**

*Avdeev Yuri Mikhailovich*  
*Vologda State University*  
*associate professor*

*Filippova Elena Evgenievna*  
*Vologda Institute of Law and Economics of the Federal penitentiary service of Russia*  
*associate professor*

### **Abstract**

The article deals with the use of mathematical modeling methods in the study of the urban environment. The main improvers of the urban environment are green urban plantations, which reduce the level of pollution, improving the microclimate of the city. Recently, in the study of the processes of formation of woody ecosystems used mathematical modeling. Our research covered the planting of elm

in Vologda. The article presents descriptive statistics on quantitative characteristics, analyzes the relationship between them and builds a regression equation showing the dependence of the tree thickness stage on the diameter at a height of 1.3 m.

**Keywords:** mathematical modeling, urbanization, urban green spaces

Урбанизированная среда представляет собой сложную систему, которая оказывает сильный антропогенный прессинг на качество жизни городского жителя [1-3].

Главными улучшителями состояния городской среды являются зелёные городские насаждения, которые снижают уровень загрязнения, улучшая микроклимат города [4,5].

Формирование различных параметров насаждений является важным процессом, когда образуется древесное сообщество и заполняется кроновое пространство экосистем, складываются взаимосвязи особей деревьев [6,7].

В последнее время при изучении процессов формирования древесных экосистем применяется математическое моделирование [8,9].

Математические модели позволяют проверить справедливость гипотез о механизмах, управляющих ростом деревьев в древостое, и использовать их для решения практических задач по оптимизации и созданию целевых насаждений [8,9].

Как показывает опыт стран, где интенсивно создаются искусственные насаждения и осуществляется уход за древостоями, создание моделей на основе знаний о закономерностях роста деревьев и древостоев позволяет значительно повысить эффективность природопользования [10-11].

Совокупность древесных пород парков, лесных насаждений являются вероятностными системами, которые характеризуются различными количественными и качественными переменными.

Нашими исследованиями были охвачены посадки вяза шершавого в г. Вологда. Вяз шершавый является очень распространённой древесной породой, применяемой в посадках г. Вологды.

В результате исследования 275 деревьев получены данные по следующим характеристикам: диаметр дерева на высоте 1,3 м, диаметр дерева на высоте 0,1 м, протяженность зоны без сучьев, диаметр кроны, высота дерева, степень толщины, балл санитарного состояния, а также зафиксированы пороки деревьев.

В таблицах 1 и 2 представлены описательные статистики для следующих характеристик.

Таблица 1 – Показатели вариационной статистики параметров деревьев

Характеристика	Размах вариации, м	Среднее арифметическое, м	Среднее квадратическое отклонение, м	Коэффициент вариации, %
Диаметр дерева на высоте 1,3 м	0,87	0,24	0,09	37,5

Диаметр дерева на высоте 0,1 м	0,88	0,43	0,16	37,2
Протяженность зоны без сучьев	14,85	2,00	1,41	70,5
Диаметр кроны	36,0	5,7	2,67	46,8
Высота дерева	10,887	11,620	1,91	16,4

Таблица 2 - Показатели вариационной статистики ступени толщины

Характеристика	Размах вариации	Среднее арифметическое	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации, %
Степень толщины	86	24	9,22	38,4

Представленная совокупность деревьев является абсолютно однородной по характеристике «высота дерева» (коэффициент вариации  $k_{\text{вар.}} = 16,4\%$  не превышает 17%) и неоднородной по остальным характеристикам.

Для изучения взаимосвязей между переменными в программе SPSS Statistics 17.0 получены парные коэффициенты корреляции (табл. 3).

Таблица 3 - Парные коэффициенты корреляции

	$X_1$ – балл санитарного состояния	$X_2$ – диаметр на высоте 1,3 м	$X_3$ – диаметр на высоте 0,1 м	$X_4$ – протяженность зоны без сучьев	$X_5$ – диаметр кроны	$X_6$ – высота дерева	$X_7$ – ступень толщины
$X_1$ – балл санитарного состояния	1						
$X_2$ – диаметр на высоте 1,3 м	0,100	1					
$X_3$ – диаметр на высоте 0,1 м	0,021	<b>0,583</b>	1				
$X_4$ – протяженность зоны без сучьев	-0,008	0,184	0,240	1			
$X_5$ – диаметр	-0,131	0,166	0,211	0,027	1		

<i>кроны</i>							
$X_6$ – <i>высота дерева</i>	0,014	0,163	0,301	0,141	0,100	1	
$X_7$ – <i>ступень толщины</i>	0,117	<b>0,992</b>	<b>0,579</b>	0,181	0,162	0,159	1

Анализ матрицы корреляций показывает, что характеристика «ступень толщины» имеет тесную связь с диаметром на высоте 1,3 м ( $r_{X_7, X_2} = 0,992$ ) и диаметром на высоте 0,1 м ( $r_{X_7, X_3} = 0,579$ ). В этом случае можно построить зависимость переменной  $X_7$  от переменных  $X_2$  и  $X_3$ . Однако характеристики  $X_2$  и  $X_3$  имеют значимый коэффициент корреляции ( $r_{X_2, X_3} = 0,583$ ), что говорит о наличии мультиколлинеарности, поэтому целесообразно в модели оставить только одну переменную  $X_2$  – «диаметр на высоте 1,3 м».

Для построения модели воспользуемся программой SPSS Statistics 17.0. Результаты представлены в табл. 4-6.

Значение критерия Дарбина-Уотсона говорит о том, что наблюдения независимы друг от друга (табл. 5).

Уравнение регрессии зависимости ступени толщины от диаметра дерева на высоте 1,3 имеет вид:

$$X_7 = -0,201 + 99,964X_2. \quad (1)$$

Коэффициент регрессии  $k = 99,964$  (табл. 4) показывает, что с увеличением на один метр диаметра дерева на высоте 1,3 м, ступень толщины увеличивается на 99,964 единицы.

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,983$  (табл. 5) близок к единице, что говорит о достаточно хорошем качестве построенной модели, 98% вариации ступени толщины дерева объясняется вариацией его диаметра на высоте 1,3 м.

Значимость уравнения регрессии проверяется с помощью критерия Фишера (табл. 6) и в данном случае подтверждается значением  $p = 0,000$  ( $<0,0001$ ).

Уравнение регрессии выражает зависимость *среднего* значения результативной переменной от факторной и позволяет прогнозировать значение зависимой переменной при определенных значениях независимой переменной.

Таблица 4 – Коэффициенты

Коэффициенты <sup>a</sup>						
Модель		Нестандартизованные коэффициенты		Стандартизованные коэффициенты	t	Знч.
		B	Стд. Ошибка	Бета		
1	(Константа)	-,201	0,2		-0,99	0,32
	X2_Диаметр_1_3	99,964	0,79	,992	126,93	8,93E-245

a. Зависимая переменная: X7\_Ступень\_толщины

Таблица 5 - Сводка для модели

Сводка для модели <sup>b</sup>					
Модель	N	R-квадрат	Скорректированный R-квадрат	Стд. ошибка оценки	Дурбин-Уотсон
1	,992 <sup>a</sup>	,983	,983	1,193	1,946

a. Предикторы: (конст) X2\_Диаметр\_1\_3

b. Зависимая переменная: X7\_Ступень\_толщины

Таблица 6 - Дисперсионный анализ

Дисперсионный анализ <sup>b</sup>						
Модель		Сумма квадратов	ст.св.	Средний квадрат	F	Знч.
1	Регрессия	22912,525	1	22912,525	16112,125	0,000 <sup>a</sup>
	Остаток	388,224	273	1,422		
	Всего	23300,749	274			

a. Предикторы: (конст) X2\_Диаметр\_1\_3

b. Зависимая переменная: X7\_Ступень\_толщины

Следует отметить, что в статье приводятся описательные статистики по количественным характеристикам, проанализирована прогнозная модель взаимосвязи между ними и построено уравнение регрессии [12-20].

Результаты экспериментальных наблюдений подвергнуты статистическому анализу и могут быть использованы:

1. для решения экологических проблем, прогнозирования уровня загрязнения городской среды, выявления агрессивных веществ, корректировки микроклимата [21-23].
2. принятия обоснованных управленческих решений [24-26].
3. формирования рекомендаций по оптимизации состояния городской среды [1,2].
4. для улучшения породного состава зелёных городских насаждений [4,7].

5. для формирования привлекательности городской среды для горожан и туристов [10].
6. для улучшения инвестиционного климата города [27,28].
7. в учебном и научно-исследовательском процессе обучающихся вузов [29-31].

### **Библиографический список**

1. Табунщик В.А. Расчет антропогенной преобразованности ландшафтов Джанкойского района республики Крым // В сборнике: Молодая наука - 2015 Материалы VI Открытой международной молодежной научно-практической конференции. Под редакцией М.С. Аракелова, С.А. Мерзаканова. 2016. С. 330-332
2. Ефимкова, Л.Н. Динамика антропогенной нагрузки на окружающую среду в Сокольском районе Вологодской области / Л.Н. Ефимкова, С.М. Хамитова // Студент. Аспирант. Исследователь. 2016. № 12 (18). С. 78-83
3. Тесаловский А.А. Особенности кадастрового обеспечения разработки схемы размещения объектов переработки и хранения отходов при планировании развития территорий // Евразийский юридический журнал. 2017. № 1 (104). С. 371-374
4. Хамитова, С.М. Декоративная оценка насаждений по характеру кроны дерева // В сборнике: Повышение эффективности лесного комплекса Материалы третьей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2017. С. 233-235
5. Филимонова М.В., Содержание Zn в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зависимости от степени загрязнения почв и снежного покрова / М.В. Филимонова, И.В. Кравченко // Академический журнал Западной Сибири. 2010. № 3. С. 50-51
6. Пестовский А.С. Рациональное природопользование и повышение продуктивности лесного фонда // NovaUm.Ru. -2018. - № 14. - С. 24-27
7. Хамитова, С.М. Форма кроны дерева - важный маркерный признак при оценке декоративности // В сборнике: Повышение эффективности лесного комплекса Материалы третьей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2017. С. 237-238
8. Смольянинова И.В., Шаталов М.А. Экономико-математический анализ межотраслевых связей в системе устойчивого развития лесопромышленных комплексов// Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 7-2 (33-2). С. 144-148.
9. Мокрецов, Ю.В. Экологические инновации как основной элемент устойчивого развития / Ю.В. Мокрецов, Ю.М. Авдеев // Экономика. Бизнес. Банки. 2018. № 4 (25). С. 109-119
10. Табунщик В.А. Распределение конфликтов природопользования в городе федерального значения Севастополь и республике Крым // В книге: География, экология, туризм: научный поиск студентов и

- аспирантов Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный университет»; Факультет географии и геоэкологии; Тверское региональное отделение Русского географического общества. 2018. С. 38-41
11. Табунщик В.А. Распределение городских и сельских населенных пунктов республики Крым по ландшафтным уровням // В сборнике: Добродеевские чтения - 2017 I Международная научно-практическая конференция. 2017. С. 127-129
  12. Шаталов М.А., Мычка С.Ю. Экономико-математическое моделирование в системе управления предприятием // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 9-3 (20-3). С. 392-396.
  13. Шаратинов А.Д. Использование ale adaptive meshing при моделировании деталей со сложной геометрией / Шаратинов А.Д., Мокрецов Ю.В. // В сборнике: Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования X Международная научно-техническая конференция. 2015. С. 192-195
  14. Шаталов М.А., Ахмедов А.Э., Смольянинова И.В. Formation of the production planning system based on linear programming // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 8-2 (34-2). С. 280-283.
  15. Шкарин Б.А. Создание унифицированных трехмерных моделей деталей в системах автоматизированного управления жизненным циклом изделий / Шкарин Б.А., Мокрецов Ю.В. // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2009. № 3. С. 23-27
  16. Титов Д.В. Методы математического моделирования в планировании производственной деятельности / Титов Д.В., Бабкин А.А. // В сборнике: Сборник научных трудов сотрудников Вологодского института права и экономики ФСИН России Под общей редакцией В.Н. Некрасова. Вологда. - 2017.- С. 266-270
  17. Титов Д.В. Практика применения технологий моделирования процессов в подготовке обучающихся инженерной специализации В сборнике: Информационные технологии в управлении, обучении, правоохранительной деятельности сборник материалов IV международной электронной научной конференции. - 2016. - С. 96-98
  18. Бадахова Г.Х., Кравченко Н.А., Каплан Г.Л. Климатологический анализ и прогноз условий распространения примесей в воздушном бассейне Кавказских Минеральных вод // Естественные и технические науки. 2009. № 4 (42). С. 241-246.
  19. Завьялов И.Н., Жмур В.В. Лабораторное моделирование взвесенесущих гравитационных потоков при активном взмучивании донных осадков // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2014. Т.

50. № 3. С. 344.
20. Поляничко М.А. Методика автоматизированного обнаружения конфликтов в комплексе программных средств защиты информации компьютерной системы // Диссертация ... кандидата технических наук. - Санкт-Петербург, 2013. 135 с.
21. Козлов А.В. Значение эколого-аналитической лаборатории мониторинга и защиты окружающей среды в образовательной и научной деятельности студентов // В книге: Экологическое образование для устойчивого развития: традиции и инновации коллективная монография. Нижегородский государственный педагогический университет им. К.Минина. Нижний Новгород, 2015. С. 266-273
22. Хучунаев Б.М., Ташилова А.А., Теунова Н.В. Оценка физической эффективности активных воздействий на градовые процессы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2008. № 6 (26). С. 169-175.
23. Пащенко В.М., Ванцов В.И., Ванцов А.В. Устройство для электромагнитного исследования дизельного топлива // патент на полезную модель RUS 65651 17.07.2006
24. Красулина О.Ю. Характеристика сред жизнедеятельности человека в арктическом геоэкономическом пространстве // Реструктуризация экономики и инженерное образование: проблемы и перспективы развития Сборник трудов научно-практической конференции с международным участием. 2015. С. 380-386.
25. Лукин В.П., Антошкин Л.В., Ботыгина Н.Н., Емалеев О.Н., Григорьев В.М., Коняев П.А., Ковадло П.Г., Скоморовский В.И., Янков А.П. Адаптивная оптическая система для солнечного наземного телескопа // Оптический журнал. 2006. Т. 73. № 3. С. 55-60.
26. Абдрахманов Н.Х., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В., Абдрахманов Р.Н. Требования к информационному, организационному и техническому обеспечению построения информационно-управляющей системы безопасности для предприятий нефтегазоперерабатывающей промышленности // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. 2016. № 2 (8). С. 14-17.
27. Задимидченко А.М. Показатели инвестиционной привлекательности регионов и резервы их повышения в современных российских условиях // В сборнике: Проблемы социально-экономического развития регионов Сборник статей Международной научно-практической конференции. 2015. С. 22-25
28. Задимидченко А.М. Развитие инвестиционной деятельности регионов России в условиях импортозамещения // В сборнике: Развитие экономики и предпринимательства в условиях экономических стратегий импортозамещения Материалы международной научно-практической конференции, сборник научных статей преподавателей, аспирантов и студентов. 2015. С. 45-47
29. Сигова, В.Л. Ситуация выбора в учебной деятельности как условие формирования креативности обучающихся // Вестник Череповецкого

- государственного университета. 2013. Т. 2. № 2 (48). С. 96-100
30. Сигова, В.Л. Содержание процесса формирования креативности обучающихся на основе использования ситуации выбора в учебной деятельности // Вестник Череповецкого государственного университета. 2013. Т. 1. № 2 (47). С. 122-126
31. Козлов А.В., Тарасов И.А. Научно-исследовательская деятельность студентов как основа реализации прикладных эколого-аналитических компетенций // В сборнике: Актуальные проблемы развития экологического образования для устойчивого развития в Нижегородском регионе Сборник статей по материалам региональной научно-практической конференции. Нижегородский государственный педагогический университет им. К.Минина. 2016. С. 58-63